

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Universidad Nacional de La Plata

Trabajo Final de Carrera

Comparación de metodologías de medición de conductividad eléctrica en pasta y extracto de saturación

Alumno: Clausi Mauro

Legajo N°: 25925/5 / D.N.I: 34415047

Email: mauroclausi.mc@gmail.com / Celular: 011-1558887564

Alumno: Andreau Eric

Legajo N°: 25237/6 / D.N.I: 32792245

Email: Eric.andreau9@gmail.com / Celular: 221-544-4415

Director: Ing. Agr. Guillermo Millán

Co-Director: Ing. Agr. Luciano Larrieu

Resumen

En el presente trabajo se evaluó la diferencia que existe entre la determinación de la Conductividad eléctrica(CE) en pasta saturada de suelo y en extracto de saturación, la relación de adsorción de sodio(RAS) y la concentración de cationes (Ca, Mg, Na y K) y aniones (Cl, SO_4 , CO_3 , HCO_3) en el extracto de saturación en dos tiempos de reposo (10min y 24hs) y sus respectivas correlaciones. Se realizó el muestreo, secado y desagregado de los suelos. Luego se procedió con la homogeneización, molienda y tamizado por 2mm. Con dichas muestras de suelo se procedió a realizar las determinaciones de la manera en que describe la técnica que se detalla en el SAMLA (Sistema de apoyo metodológico a laboratorios de análisis de suelos, aguas, vegetales y enmiendas orgánicas).

Se determinaron las concentraciones de cationes calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), sodio (Na^{+1}) y potasio (K^{+1}) y aniones bicarbonatos (HCO_3^{-1}), carbonatos (CO_3^{-2}), sulfatos (SO_4^{-2}) y cloruros (Cl^{-1}), en el extracto saturado de suelo a los 10 minutos y a las 24 horas de reposo para luego corroborar las correlaciones existentes entre las concentraciones de los mismos a los distintos tiempos de reposo.

Se registraron altas correlaciones entre pasta saturada de suelo a los 10 minutos y pasta saturada de suelo a las 24 horas; extracto saturado a los 10 minutos y extracto saturado de suelos a las 24 horas y bajas correlaciones entre las combinaciones de pastas saturadas de suelos con extractos saturados.

Los resultados mostraron altas correlaciones a los diferentes tiempos de reposo para todos los cationes y aniones a excepción de los bicarbonatos con baja correlación.

Luego de realizar dicho trabajo se concluyó que el tiempo de reposo o contacto no modifica los valores en la determinación de conductividad eléctrica.

De mediar estudios que confirmen la baja influencia del tiempo en la determinación de la CE y la concentración de cationes y aniones, sería una ventaja metodológica que permitiría agilizar el proceso de determinación y diagnóstico de salinidad en suelos.

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

La salinización antrópica de suelos es una problemática que impacta a millones de hectáreas en el mundo, afectando los usos potenciales del territorio, delimitando la superficie agrícola y ganadera. Según Pla Sentis (2006), la afectación de suelos por sales es la segunda causa de pérdida de productividad de suelos agrícolas a escala mundial, detrás de la erosión. Según el mismo autor ha alcanzado en el ámbito mundial una superficie de 110 millones de hectáreas (ha), con un aumento anual de 1,5 a 2,5 millones de ha y una tendencia a continuar en aumento.

La causa de la salinización del suelo es un aporte de sales mayor que la descarga; normalmente el agua con sales disueltas es lo que aporta estas sales. Ejemplos de suelos salinos naturales se encuentran en las costas marítimas donde los terrenos se inundan desde el mar, donde el viento sopla gotas de agua salina tierra adentro y/o el flujo subterráneo del mar penetra en el acuífero interno. También en los desiertos hay suelos salinos a causa de la alta evaporación del agua aportada históricamente.

El problema no natural de la salinización se da en los terrenos regados, porque el agua de riego siempre contiene algo de salinidad y la concentración en el suelo aumenta continuamente por la evapotranspiración.

Véase tabla 1.

El término salinidad hace alusión a una concentración de iones provenientes de la disolución de sales, que se originaron a partir de la meteorización de minerales en el perfil del suelo o de agregado de productos salinos por arte del hombre.

Según Flores *et al* (1996) “Es el resultado de procesos naturales y/o antrópicos presentes en todos los suelos, que conducen en menor o mayor grado a una acumulación de sales, que pueden afectar la fertilidad del suelo”.

Los suelos afectados por salinidad tienen una concentración de sales más solubles que el yeso, afectando el crecimiento de las plantas y la actividad microbiana del suelo.

Clasificación de suelos salinos

El sistema de Taxonomía de Suelos

Como ocurre con el proceso de hidromorfismo y a diferencia de otras clasificaciones, el sistema Taxonomía de Suelos del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) (Soil Survey Staff, 1999) no posee una categoría máxima que agrupe a los suelos afectados por halomorfismo, los cuales están subordinados a otros procesos. El nivel más alto en que se encuentran es el Suborden, lo que ocurre en un sólo caso (Salid en los Aridisoles). En la mayoría de los casos, se encuentra a nivel de Gran Grupo en diversos Ordenes (Alfisol, Aridisol, Molisol, Vertisol), apareciendo también a nivel de Subgrupo en varios Ordenes. El sistema reconoce dos horizontes de diagnóstico afectados por este proceso, nátrico y sálico.

El horizonte nátrico es un caso especial de horizonte argílico en que además de las características de éste, debe poseer requisitos de tipo morfológico y químicos.

requisitos morfológicos:

Estructura prismática o columnar generalmente en la parte superior del horizonte, que puede romper en bloques, o estructura en bloques y materiales eluviales con granos de limo y arena sin revestimientos que penetran más de 2,5 cm dentro del horizonte.

requisitos químicos:

$\geq 15\%$ de sodio intercambiable (PSI) o una relación de adsorción de sodio (RAS) ≥ 13 en uno o más horizontes dentro de los 40 cm de su límite superior.

Si esta condición no se cumple en dicha profundidad, pero sí dentro de los primeros 200 cm desde la superficie, la condición de nátrico se cumple si la suma de $\text{Na}^{+1} + \text{Mg}^{+2}$ intercambiables es mayor que la suma de $\text{Ca}^{+2} + \text{acidez de intercambio}$ (a pH 8,2) en uno o más horizontes dentro de los 40 cm del límite superior.

El horizonte sálico es un horizonte de acumulación de sales más solubles que el yeso en agua fría. Debe tener ≥ 15 cm de espesor y cumplir durante 90 días consecutivos o más las siguientes condiciones:

- una conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE) $\geq 30 \text{ dS m}^{-1}$ y
- el producto: $\text{CE (dS m}^{-1}) \times \text{espesor (cm)} \geq 900$.

La Base de Referencia Mundial del Recurso Suelo (Sistema WRB)

Como ocurre con los suelos afectados por hidromorfismo, este sistema reúne en el nivel más alto (Grupo de Suelos de Referencia) a los suelos halomórficos, siguiendo criterios genéticos de otras clasificaciones, particularmente europeas, aunque divergiendo respecto al sistema Taxonomía de Suelos. Incluye así en ese nivel a los Solonetz y Solonchaks, ubicados en el octavo y noveno lugar de la clave, respectivamente IUSS Working Group WRB, (2006), Versión castellana de 2007).

Los Solonetz deben poseer un horizonte diagnóstico nátrico dentro de los primeros 100 cm, mientras que los Solonchaks tienen un horizonte sálico dentro de los primeros 50 cm y no deben tener un horizonte tiónico (rico en ácido sulfúrico por oxidación de sulfuros) dentro de esa profundidad.

Las propiedades de estos horizontes de diagnóstico son las siguientes:

Horizonte nátrico: tiene características muy similares a Taxonomía de Suelos en lo que se refiere a requerimientos de horizonte argílico. La única diferencia es que además de tener estructura columnar, prismática o en bloques, puede ser también masivo.

Horizonte sálico. En este caso hay diferencias importantes respecto a Taxonomía de Suelos ya que tiene menores exigencias en cuanto a niveles mínimos de conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE) y tiempo durante el cual dichos niveles deben encontrarse: Los requerimientos de este horizonte son: promediado en todo su espesor, en algún momento del año, debe tener una CE (a 25 °C) $\geq 15 \text{ dSm}^{-1}$, ó $\geq 8 \text{ dSm}^{-1}$ si el pH del extracto de saturación $\geq 8,5$, y promediado en todo su espesor, en algún momento del año, el producto del espesor (cm) x la CE (en dS m^{-1}) debe ser ≥ 450 , y el espesor debe ser $\geq 15 \text{ cm}$.

Los Solonetz y Solonchaks incluyen varios calificadores grupo I que son comunes a ambos; algunos que podrían aplicarse a suelos de la Región Pampeana son: vértico, gleico, estágnico, mólico, cálcico, dúrico, gípsico y háplico. También están contemplados los calificadores sálico para los Solonetz y petrosálico e hipersálico, para los Solonchaks.

Los calificadores grupo II que podrían asignarse a Solonetz de la Región Pampeana son: glosálico, álbico, abruptico, arcílico y oxiácuico. Para los Solonchaks se pueden mencionar los calificadores: sódico, clorídico, sulfático, carbonático, oxiácuico, entre otros.

Hay suelos que pueden tener horizonte sálico y no ser considerados Solonchaks por poseer características que los ubican por encima en la clave de grupos de suelos de referencia ; ellos son: Histosoles, Antrosoles, Criosoles, Leptosoles, Vertisoles, Fluvisoles y Solonetz. En estos casos se clasifica en el segundo nivel mediante el calificador grupo I sálico , aplicado a suelos con horizonte sálico dentro de los primeros 100 cm (por ej : Vertisoles sálicos , Fluvisoles sálicos).

Las características del horizonte sálico se puede precisar aún más mediante especificadores, por ejemplo: -endosálico: horizonte sálico que comienza entre 50 y 100 cm; -episálico: horizonte sálico que comienza dentro de los primeros 50 cm; -hipersálico: $CE \geq 30 dSm^{-1}$; hiposálico: $CE \geq 4 dS m^{-1}$.

Suelos que tienen cantidades importantes de sodio intercambiable, pero que no se incluyen en los Solonetz por estar por encima de éstos en la clave o porque no poseen horizonte nátrico se pueden destacar mediante el calificador sódico , cuya definición de este calificador es: ≥ 15 % de $Na^{+1} + Mg^{+2}$ intercambiables dentro de los primeros 50 cm en todo el espesor.

El calificador sódico se puede aplicar como del grupo I a los Vertisoles (por ej: Vertisol Sódico) y como del grupo II a: Leptosoles, Fluvisoles, Gleisoles, Planosoles, Stagnosoles, Kastanozems, Phaeozems, Calcisoles, Luvisoles y Regosoles , dentro de suelos que podrían encontrarse en la Región Pampeana , por ejemplo: Phaeozem Vértico (Sódico), Luvisol gleico (Sódico).

El calificador sódico se puede también subdividir de la siguiente manera:

-endosódico: ≥ 15 % de $Na^{+1} + Mg^{+2}$ intercambiables entre los 50 y 100 cm desde la superficie en todo el espesor.

-hiposódico: ≥ 6 % de $Na^{+1} + Mg^{+2}$ intercambiables en una capa ≥ 20 cm de espesor, dentro de los primeros 100 cm.

Asimismo, se contempla el calificador grupo I solódico para hacer referencia a una capa de ≥ 15 cm de espesor dentro de los primeros 100 cm con estructura columnar o prismática propia de un horizonte nátrico , pero que no cumple con los requerimientos de saturación con sodio (por ej: Planosol solódico).

Clasificaciones químicas de los suelos salinos

Aparte de las clasificaciones taxonómicas tratadas, los suelos salinos pueden clasificarse desde el punto de vista químico a partir de la concentración total de determinadas sales (por ejemplo, carbonato de sodio) o de los iones solubles del extracto de la pasta saturada.

Una de las primeras clasificaciones químicas es la de Sigmond (1928), que fue utilizada sobre todo por botánicos y silvicultores. Establece cuatro clases según los contenidos de sales totales y carbonato de sodio en dos profundidades 0-30 y 30- 120 cm:

La clasificación considera distintas combinaciones entre clases, por ejemplo: IIa = IIsa/Iso o Isa/IIsa, etc.

Véase tabla 2.

La clasificación de Sigmond posiblemente sirvió de base para la clasificación de Hayward y Wadleigh (1949), que utilizó por primera vez la conductividad eléctrica (CE) y el pH, agregando luego el porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Establece cuatro clases de suelos y tuvo luego amplia difusión en el Manual de Suelos Salinos y Sódicos del Laboratorio de Salinidad de Riverside, EE.UU. Richards, (1954).

Véase tabla 3.

En Francia se utilizan clasificaciones a partir del contenido de los cationes dominantes, en particular la relación entre cationes bivalentes y monovalentes Duchaufour, (1988).

También se creó una clasificación basada en la composición aniónica donde se diferencian tipos de suelos y facies Loyer, (1991); esta clasificación se incluyó en la descripción de los Solonchaks del sistema WRB Spaargaren, (1996). Asimismo, la clasificación francesa actual Référentiel Pédologique. AFES, (1995) diferencia a los suelos salinos según la composición aniónica en: Salisoles cloruro-sulfatados, y Salisoles carbonatados. También utilizando la composición aniónica se establecieron «provincias de sales», que constituyen grandes regiones con cierta similitud en condiciones climáticas y composición salina más o menos constante en suelos y aguas, (Peinemann, 1997).

También utilizando relaciones aniónicas se han establecido clasificaciones de suelos, como la de Plyusnin (1964) a partir de la relación cloruros / sulfatos: <0,5 suelos sulfatados; 0,5-1,0 suelos sulfatados-clorurados; 1,0-5,0 suelos clorurados - sulfatados y >5,0 suelos clorurados.

El ciclo salino

La escuela rusa elaboró un esquema evolutivo ideal de los suelos halomórficos que aún hoy se sigue conceptualmente para comprender las características de este tipo de suelos. El mismo parte de la acumulación de sales solubles, donde las sales de sodio a menudo predominan en las primeras etapas de la salinización, mientras que las sales de calcio y magnesio se acumulan más lentamente. Al aumentar la concentración de sales, también el Mg^{+2} puede precipitar como $MgCO_3$ y el Ca^{+2} como $CaCO_3$ y $CaSO_4$. Estos procesos de concentración y precipitación causan la acumulación de $CaCO_3$ en los suelos y aumento gradual de Na^+ respecto a otros cationes en la solución.

Origen de la salinidad

Desde hace muchos años se distinguen dos orígenes al del proceso de salinización, uno natural o primario y otro antrópico o secundario, Taboada y Lavado, (2009).

La salinización primaria es característica de muchas áreas de zonas áridas, en las cuales las sales solubles están presentes en el perfil del suelo, estas no se lavan porque la demanda evapotranspirativa supera a las precipitaciones. Dentro de la gran variabilidad de ambientes que existen en el mundo se pueden derivar combinaciones de factores o variables que determinan la formación de suelos salinizados. Entre los factores que inciden, se destacan; *el Clima*, cuando la evapotranspiración potencial supera a las precipitaciones y *la Topografía*, en relieves deprimidos. Dentro de las características del suelo que influyen en la salinización, debemos tener en cuenta *la Hidrogeología*; como capas impermeables a escasa profundidad, de arcilla compactada, tosca, yeso, o superficie freática poco profunda y tipo de flujo subterráneo Alcaraz (2012). Su superficie en el mundo supera los 3,23 millones de km^2 incluido ellos en los desiertos y las costas marítimas de acuerdo al mapa mundial de suelos de la FAO/UNESCO y es mas estable que la antrópica, salvo alternativas del cambio climatico.

La salinización secundaria es provocada por la rotura del equilibrio hídrico, lo que causa la re movilización de las sales desde fuentes cercanas, por ejemplo subsuelos salinos o aguas subterráneas, a la superficie del suelo. Generalmente, la salinización secundaria es causada por el mal manejo de la actividad agrícola, el riego, la deforestación y la producción ganadera.

Los procesos de sodificación y salinización pueden ser naturales o inducidos por el uso de la tierra y acciones antrópicas diversas. Los procesos son de naturaleza fisicoquímica producidos por intercambio iónico entre la solución del suelo y las micelas coloidales . En este sentido se debe diferenciar los iones adsorbidos por cargas eléctricas de los coloides inorgánicos y orgánicos en la solución micelar, donde generalmente hay un predominio de cationes , de los iones solubles ubicados en la solución intermicelar, donde la carga resultante es cero por estar equilibrados los cationes y aniones.

El aumento de sales en el suelo, varía continuamente el equilibrio entre cationes de la solución y los adsorbidos en los coloides , para equilibrar las cargas del sistema coloidal ante cambios en la composición y concentración de los cationes disueltos . Cuando aumenta el ión Na^+ en la solución del suelo, la proporción de Na^+ adsorbido en los coloides también aumenta. El Na^+ es retenido con menos fuerza por las arcillas que otros cationes y es lixiviado en suelos permeables de climas húmedos ; por lo tanto su acumulación se origina por algún factor que impide o dificulta la lixiviación o por adiciones al perfil más rápidas que su eliminación . La permeabilidad puede estar restringida por una capa lentamente permeable, como un algún tipo de pan (densipán, fragipán, duripán, etc.), estrato rocoso o un suelo antiguo . Así, para que se adsorba una cantidad apreciable su proporción debe ser muy superior al 50 %. Si por alguna causa, por ejemplo aumento de precipitaciones , las sales son lavadas , el suelo salino-sódico puede transformarse en sódico. Ello implica una serie de transformaciones en las características físicas y químicas del suelo (degradación de la estructura , reducción de la permeabilidad, elevación del pH, etc.). Si continua el lavado en ausencia de Ca^{+2} y Mg^{+2} , parte del Na^+ intercambiable es reemplazado por el ión H^+ y el suelo puede acidificarse ligeramente aunque con suficiente Na^{+1} como para desestabilizar la estructura (suelo sódico degradado) Szabolcs, (1988). Los procesos de enriquecimiento y lixiviación de sales de sodio son dinámicos, variando con la estación del año y posición en el paisaje . Raramente las sales cubren todo el paisaje , sino que se acumulan en zonas donde el balance es positivo . Típicamente, las sales de sodio están en áreas deprimidas o al pie de pendientes , donde el agua freática está cerca de la superficie , hacia donde asciende por capilaridad; en cambio, en los horizontes más altos el sodio puede ser lixiviado del perfil . Las sales de magnesio y calcio

son menos solubles y en caso de precipitar, podrían hacerlo separadas espacialmente en el perfil, por encima de las sales de sodio. Según FitzPatrick (1980) los suelos sódicos no se forman en materiales que contienen carbonato de calcio, salvo después de la descalcificación, ya que el calcio desplaza al sodio y al magnesio.

Efectos de la salinidad

La salinidad afecta el crecimiento y producción de los cultivos porque reduce el potencial hídrico de la solución del suelo, la disponibilidad de agua, y crea un desequilibrio nutritivo, que pueden interferir con la nutrición mineral y el metabolismo celular Amini *et al.*, (2007). En consecuencia, los diversos efectos observados a distinta escala, desde reducción de turgencia y crecimiento, hasta la pérdida de la estructura celular por desorganización de membranas e inhibición de la actividad enzimática, son el producto combinado del estrés hídrico, la toxicidad iónica y el desequilibrio nutricional Parida y Das, (2005); Vijayan, (2008). La salinidad afecta la fotosíntesis Chaves, (2009), principalmente a través de la reducción del área foliar, el contenido de clorofila y la conductancia estomática, y en menor medida a través de una disminución de la eficiencia del fotosistema II (Chinnusamy *et. al.*, 2005)

Efectos del sodio en los suelos regados

La floculación es el paso posterior de la materia coloidal en suspensión precedido por la coagulación. La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales a causa de la neutralización de sus cargas electrostáticas por un coagulante, promocionando la unión entre ellas. La floculación muestra que las partículas de arcilla poseen una fuerza electrostática considerable y se reúnen o floculan a partir de la presencia de una sal neutra. La superficie de la partícula posee una doble capa iónica: una interior estrecha y compacta, otra exterior que es una mezcla de cationes y aniones desplazados y rodeados de cationes hidratados. La floculación aumenta con la valencia respectiva del catión y el potencial zeta se incrementa con la carga eléctrica de la superficie de la micela y según aumenta la distancia de la capa interior de la misma. La adsorción de sodio sobre la superficie de las arcillas incrementa el espesor de la doble capa Ayers *et al.*, (1987); Aparicio *et al.*, (2014) de INTA Hilario Ascasubi.

La presencia de sodio adquiere dimensiones importantes ya que actúa sobre la dispersión de las partículas y en consecuencia sobre la disminución de la infiltración del suelo. Cuanto más

pequeño es el radio hidratado y cuanto mayor es la valencia de un catión, mayor es su poder de flocular el suelo. El calcio tiene un efecto floculante mientras que a la inversa el sodio dispersante. El calcio posee un menor radio hidratado y mayor valencia que el sodio.

En los suelos sódicos, la elevada relación Na/Ca promueve la absorción alta de Na^+ y baja de Ca^{+2} en las plantas. Al respecto, la reducción en la absorción de Ca^{+2} constituye uno de los efectos nutricionales más adversos de los suelos sódicos ya que éste catión cumple importantes funciones nutricionales y fisiológicas en el metabolismo vegetal. En este sentido, se considera que la relación entre concentración de Ca^{+2} y concentración total de cationes es mejor indicador de disponibilidad de Ca^{+2} que la simple concentración de este elemento. Una relación inferior a 0,1, a menudo encontrada en extractos de la pasta saturada de suelos sódicos, podría producir deficiencia de Ca^{+2} en muchos cultivos, Adams, (1974); Carter y Webster, (1990). En los suelos sódicos también puede haber deficiencias de Ca^{+2} con relaciones Mg/Ca elevadas. La alta absorción de Na^{+1} puede causar deficiencias de elementos tales como K, Zn, Cu y Mn. También promueve la elevada absorción de Ni, Pb, Se, Al y B, que pueden alcanzar niveles tóxicos (Levitt, 1980).

El alto contenido de sodio intercambiable es causante de la dispersión de la materia orgánica, con formación de humatos y fulvatos de sodio, que se suelen manifestar en la superficie del suelo en forma de manchones oscuros. Este rasgo explica el antiguo término suelos de álcali negro aplicado a los suelos sódicos Hilgard, (1906) de Imbellone Perla Suelos de la Región Pampeana. Son compuestos muy móviles y fácilmente transportables por el agua de escurrimiento superficial hacia depresiones, lagunas o cursos de agua, produciendo la pérdida de materia orgánica de los suelos. Esta movilización se comprobó por la presencia de sustancias húmicas en aguas de los ríos Samborombón y Salado por primera vez Ringuelet, (1935). Más tarde, Lavado *et al.* (1982) y Taboada *et al.* (1987) determinaron el contenido de ácidos fúlvicos y húmicos en aguas superficiales, subterráneas y suelos (Natracualfes y Argialboles) de la cuenca del río Samborombón, provincia de Buenos Aires. También se comprobó el bajo grado de polimerización de la materia orgánica con predominio de ácidos fúlvicos y alta proporción de carbono soluble, hecho que genera gran aporte a las aguas de inundación o escurrimiento superficial, particularmente en los Natracualfes. La presencia de

sustancias húmicas en aguas sometidas a cloración para consumo humano puede tener consecuencias graves para la salud.

Diagnostico de la salinidad

Un aspecto que hace que el estudio de los suelos afectados por sales sea muy complejo, es que involucra a los suelos que son salinos y/o alcalinos más los suelos que fueron salinos, pero que actualmente retienen alguna característica causada por la salinidad. A ello se suman los suelos potencialmente afectados por sales, tanto por razones naturales como antrópicas. Los problemas de salinidad y sodicidad pueden aparecer en forma conjunta en los suelos, pero también es común que se encuentren separadas. Es importante saber diagnosticarlos, pues los problemas que ocasionan a los suelos y cultivos difieren entre sí.

Haciendo una apreciación a campo se pueden evidenciar eflorescencias blanquecinas que si se prueban, tendrán gusto salado por la presencia de cloruro sódico o amargo por la presencia de cloruro magnésico. Los campos sin vegetación o con vegetación halófila característica, como pueden ser los géneros *Sarcocornia sp*, *Limonium sp*, *Salicornia sp*, *Suaeda sp*, en bordes de lotes y que por medio de análisis químicos cualitativos se identifican cloruros con nitrato de plata al 5% y sulfatos con cloruro de bario al 10% para determinar presencia de sales solubles Porta *et al*, (2003). Muchas veces a campo se hace difícil diferenciar por características externas que suelo es afectado por salinidad, sodicidad o ambas a la vez, para ello se realizan determinaciones específicas en laboratorio que permiten caracterizarlos. Estas son conductividad eléctrica (CE), relación de adsorción de sodio (RAS) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

A partir de la importancia que adquiere determinar la concentración de sales, se desarrollaron distintas metodologías para cuantificarla. La determinación específica de la salinidad se realiza mediante la resistencia eléctrica o resistividad (R) o de la CE. La resistencia eléctrica específica de un determinado material. Se designa por la letra griega rho minúscula (ρ) y se mide en $\text{ohm.cm}^2/\text{cm}$ ($\Omega.\text{cm}^2/\text{cm}$)(<https://es.wikipedia.org/wiki/Resistividad>). La R es el método más antiguo utilizado en la medición de la salinidad en pasta de suelo saturada, que por su escasa precisión para concentraciones elevadas de sales ha quedado prácticamente en

desuso para análisis de suelos, siendo mayormente adoptada la determinación de la CE. A su vez la R es la inversa de la CE, relacionadas mediante una función asintótica; a altos valores de CE se obtienen bajos valores de R. Las muestras de suelo que se ubican por debajo de 200 ohms.cm^{-1} , tienen un rango de variación muy pequeño de resistencia y elevada salinidad. Para obtener mayor precisión en su medición se normalizo la determinación de la CE, como metodología de diagnóstico a nivel de laboratorio y también a campo.

La R posee una resistividad específica que depende del material constituyente del suelo, iones y porcentaje de saturación; la otra parte que constituye la fórmula es la constante de celda en unidad de superficie, cm^2 comúnmente utilizada y la distancia entre electrodos electrodos.

Fórmula de Resistencia eléctrica $R = \rho L/S$

ρ = Resistencia Eléctrica Específica. ($\text{ohm.cm}^2/\text{cm}$)

L = longitud (cm).

S = sección (cm^2)

La R, es proporcional a la distancia entre los electrodos e inversamente proporcional al área transversal de la muestra.

En el caso de la CE la medición se realiza a través de un conductímetro. Este instrumento compuesto por una "celda", constituida por dos placas de un material especial (platino, titanio o níquel recubierto con oro, o grafito,) una fuente alimentadora y un registro de medición. La celda se introduce en la disolución o pasta de suelo cuya conductividad se precisa medir, se aplica una diferencia de potencial entre las placas del conductímetro, y este mide la intensidad de la corriente que pasa, calculando con ambos valores, de acuerdo a la calibración previamente efectuada, la conductividad de la muestra ensayada.

La conductividad específica, κ (kappa) es la recíproca de la resistencia específica (dS)

$$\kappa = 1/\rho = C/R$$

Caracterización cuantitativa de la salinidad

Dado que la observación visual de suelos y plantas no es, por sí sola, adecuada para diagnosticar los problemas de salinidad (esta puede reducir el rendimiento de los cultivos

hasta en un 25% sin síntomas visibles apreciables: Maas y Hoffman, (1977), el método mas utilizado ha sido la toma de muestras de suelo y posterior análisis en laboratorio.

Debido a que los valores de “agua útil” de la mayoría de los suelos son demasiados bajos para proceder a su extracción sin dilución, se ha propuesto convencionalmente medir la salinidad del suelo en extractos acuosos de pastas saturadas de muestras de suelo U.S.S.L, (1954), método conocido con el nombre de “Extracto Saturado”. La conveniencia de utilizar esta relación suelo:agua se basa en que, es la mayor cantidad de suelo en la menor cantidad de agua posible para una extracción por succión relativamente simple. También se obtiene un volumen de extracto suficiente para poder proceder a su análisis iónico.

La preparación de la pasta saturada se efectúa de la siguiente forma: se añade lentamente agua destilada a una muestra de suelo (200-400g aproximadamente) seco en estufa a 40 °C, molido y tamizado por tamiz de 2mm, agitando durante la adición; se mezcla bien y se deja reposar por tiempo mínimo de 4 horas para conseguir el equilibrio entre el suelo y la solución Rhoades, FAO (1999). Una vez comprobado el punto de saturación, a partir de esta pasta y por filtrado con succión en un embudo de vacío con papel de filtro Whatman N°50, se obtiene el extracto saturado Rhoades y Clarck, (1978). Si el filtrado inicial es turbio se filtra de nuevo añadiendo a la pasta saturada. La extracción debe interrumpirse antes de que pase aire a través de la “torta” de suelo.

El punto de saturación del suelo es razonablemente fácil de reproducir, ya que la pasta saturada adquiere propiedades características tales como reflejar la luz, fluir ligeramente cuando se inclina el recipiente que la contiene, se desliza libre y limpiamente por la espátula y se consolida fácilmente después de hacer un surco en ella U.S.S.L (1954). Aun así, el punto final de la pasta saturada es subjetivo, por lo que depende de la persona que lo efectúa, lo cual limita su reproducibilidad y la comparación entre laboratorios. Tratando de minimizar esta subjetividad, Longenecker y Lyerly (1964) de Aragues, Metodos de medida de salinidad del suelo, han propuesto humedecer la muestra por capilaridad en una mesa de saturación. Loveday (1972) y Beatty y Loveday (1974) sugieren predeterminedar en una muestra de suelo la cantidad de agua de saturación utilizando una técnica de humedecimiento

capilar, y añadir esta cantidad de suelo lentamente al agua (método de sobresaturación) con el fin de acelerar la preparación de la pasta.

Otra de las subjetividades inherentes al método del extracto saturado es la posible influencia de la preparación de la muestra (molienda y tamizado), del vacío aplicado y del tiempo de extracción sobre la concentración de sales del extracto. Así, Jacober y Sandoval (1971) han evaluado estos aspectos concluyendo que para tres suelos analizados: la CE aumenta con el grado de molienda de la muestra, siendo mayor el efecto cuanto mayor es el porcentaje de arcilla del suelo; el nivel de vacío aplicado afecta a los valores de CE del extracto, aunque este efecto es diferente para los tres suelos utilizados, y por último que la CE disminuye conforme aumenta el tiempo de extracción. Estos autores recomiendan la normalización del procedimiento de extracción, sugiriendo una molienda del suelo tamizados por tamiz de 2mm de luz, un nivel de vacío constante de 0.6 bares y un tiempo de extracción de 30min. Con estos valores y un peso de suelo de 250g se obtiene un volumen de extracto de 40 a 55 ml, suficiente para los análisis rutinarios de determinación de la salinidad y composición iónica de la solución del suelo.

Una vez obtenido el extracto saturado (o cualquier otro tipo de extracto o muestra de agua) es preciso evitar la precipitación de carbonato cálcico para lo cual puede añadirse una gota de hexametáfosfato sódico de 1000 ppm de concentración (0,1g/100ml) por cada 25 ml de extracto U.S.S.L (1954). Dado que por este procedimiento se contamina la muestra de ion sodio (aunque en cantidades generalmente despreciables), un método alternativo consiste en efectuar en una submuestra una dilución doble y determinar en ella el calcio y la alcalinidad. Asimismo, puede tomarse una alícuota de la muestra para analizar lo antes posible CE, pH, Cl y HCO_3^- y diluir el resto de la muestra con un volumen equivalente de HCl 0,1N que evite la precipitación de CaCO_3 y retarde los procesos biológicos durante el almacenamiento de la misma Robbins *et al.*, (1980).

Como se indico anteriormente, una de las ventajas principales del extracto saturado frente a otros extractos donde la relación suelo:agua es menor, se encuentra en que es el método con

el que menos se diluye la solución del suelo, y en consecuencia, el extracto obtenido es el mas representativo de la misma.

Finalmente, otra ventaja de este método consiste en que el porcentaje de saturación esta relacionado con la textura del suelo, y por lo tanto, con los distintos valores de humedad de campo. Así, las determinaciones hechas por Richards U.S.S.L (1954) en diferentes tipos de suelos indican que, dentro de un amplio margen de texturas, el porcentaje de saturación es aproximadamente igual a cuatro veces el contenido de humedad en el punto de marchitez permanente, y a dos veces el correspondiente al punto de capacidad de campo. La concentración de sales solubles del extracto de saturación se aproxima, por tanto, a la mitad de la concentración de la solución del suelo en el límite superior del intervalo de humedad disponible y a la cuarta parte de la correspondiente al límite inferior de dicho intervalo. En consecuencia, el extracto saturado toma en consideración el efecto de dilución de sales que se produce en los suelos de textura fina debido a su mayor capacidad de retención de agua, y por esta razón la CE del extracto saturado (CE_e) puede usarse directamente para analizar el efecto de la salinidad sobre el rendimiento de los cultivos U.S.S.L (1954).

Al realizar una recopilación bibliográfica de distintas metodologías de determinación de conductividad eléctrica utilizadas en distintos países como Colombia, Chile y Brasil, se evidencian diferencias en sus metodologías, principalmente en los tiempos de reposo y en las relaciones suelo:agua. Sin embargo a pesar de no haber un método estandarizado todas concluyen en un resultado de CE.

Es común que los laboratorios de análisis de suelo informen la CE determinada en relaciones fijas de suelo:agua, siendo las más comunes 1:1, 1:5, 1:4 y 1:2,5, esta última se ha difundido últimamente porque es similar a la utilizada para la medición de pH. Caviglia *et al* (2003), realizaron trabajos en suelos de distintas localidades de Entre Ríos y destacaron la correlación existente entre las distintas relaciones fijas suelo:agua. También se evaluó la relación entre la CE del extracto y la CE de relación fija 1:2,5 suelo:agua, que se encuentran débilmente correlacionadas, pero que si tomaban en cuenta los coeficientes de porcentaje de saturación y clase textural, dicha correlación aumentaba.

Asimismo existen otros investigadores que buscaron realizar un método más simple para estimar la salinidad en distintos tipos de suelo, de regiones semiáridas. Zalba *et al* (2013) evaluaron por medio del coeficiente de correlación entre la pasta saturada y el extracto de saturación; generando un modelo, que tiene en cuenta el porcentaje de saturación y diferentes clases texturales. Lograron un buen ajuste entre CE de pasta y CE del extracto hasta valores de aproximadamente 8 dS/m de CE, después de lo cual aumento la variabilidad de los datos y se estimó que la CE tendía a ser inferior a los valores medidos.

Teniendo en cuenta los trabajos citados anteriormente se trabajo en simplificar la metodología, y para ello se evaluó diferentes tiempos de reposo en pasta de saturación y en extracto de saturación, la variación de cationes/aniones, y sus correlaciones. Al poner a prueba estas hipótesis se intento evidenciar que se pueden agilizar los trabajos de laboratorio y la obtención de los resultados.

Hipótesis

- Existe variación entre la determinación de conductividad eléctrica en pasta de saturación y en el extracto de pastas de saturación.
- Puede agilizarse la obtención de resultados mediante una modificación en el tiempo de reposo.
- Las determinaciones en pasta de saturación y en el extracto de saturación no varían según el tiempo de reposo por lo tanto las concentraciones de Cationes (Ca, Mg, Na y K) y aniones (Cl, SO_4 , CO_3 , HCO_3) en el extracto de saturación ni la RAS no se modifican con el tiempo de reposo.

Objetivos

El trabajo tiene como objetivos:

- Evaluar la diferencia que existe entre la determinación de la CE en la pasta de saturación y en el extracto de saturación.
- Evaluar la incidencia del tiempo de reposo sobre la determinación de la conductividad eléctrica en la pasta de saturación y en el extracto de pasta de saturación de suelo.

- Analizar el efecto que produce el tiempo de reposo sobre la concentración de Cationes (Ca, Mg, Na y K) y aniones (Cl, SO_4 , CO_3 , HCO_3) en el extracto de saturación.
- Evaluar la RAS a los 10 minutos y a las 24 Horas de la preparación de la muestra.

MATERIALES Y METODOS:

Para constatar las hipótesis del trabajo y cumplimentar los objetivos planteados las muestras fueron seleccionadas preferentemente de suelos de la región pampeana mediante la carta de suelos de la provincia, provistas por el INTA para tener cierta homogeneidad y descartar posibles interferencias en cuanto a material originario de las muestras utilizadas. Las mismas fueron colectadas formando muestras compuestas para ser representativas del área de muestreo ya que muchas, son parte del ingreso de muestras al laboratorio de edafología teniendo en cuenta que las mismas son obtenidas por personas asesoradas por quienes las analizan, integrantes del cuerpo técnico del laboratorio y siguiendo los pasos que se describen a continuación.

En el presente trabajo se utilizaron 61 muestras de suelo, pertenecientes a la región ecológica denominada Pampa Húmeda, Argentina. Dichos suelos fueron seleccionados en función de obtener diversidad y características contrastantes en sus propiedades físicoquímicas. Se utilizó como parámetro principal de selección la textura, de manera tal de cubrir un espectro de clases texturales que va de arcillosa a franco arenosa

Se realizó el muestreo, secado y desagregado de los suelos. Luego la homogeneización, separación mecánica de las partículas y tamizado por 2000 μm . Con dichas muestras de suelo se procedió a realizar la pasta saturada de suelo, de la manera en que describe la técnica que se detalla en el SAMLA, SAGPyA (2004).

En la pasta saturada de suelo, a los 10 minutos se determinó la CE (CE pas10min). A continuación, se procedió a fraccionar la pasta saturada para obtener de una mitad el extracto de saturación con un tiempo de reposo de 10 minutos (Ce ext 10min). A la otra mitad de la pasta se la dejó en reposo durante 24 horas. Al día siguiente se determinó la CE en la pasta

(CE pas 24hs) y a posteriori se obtuvo el extracto y se determinó su conductividad (CE ext 24hs).

Preparación de la muestra:

Secado de muestras a 40 °C, 24 horas con circulación de aire forzado.

Separación mecánica de las partículas de muestras con molinillo eléctrico y tamizado a 2000 μm .

Protocolos analíticos:

.- Determinación de C.E. en pasta de saturación:

Preparación de la pasta de saturación de suelo.

Tiempos de reposo: 10 min minutos de espera hasta medicion de CE en pasta y 24 horas hasta medicion de CE en pasta.

-Medición en la pasta de saturación de suelo por conductimetría: la medición consiste en introducir un aparato llamado conductímetro dentro de la pasta, según la concentración de sales, principalmente del agua presente en los poros, transmite la corriente electrica con cierta intensidad.

.- Determinación de C.E. en extracto:

Preparación de la pasta de saturación de suelo.

Tiempos de reposo: 10 minutos y 24 horas.

Extracción mediante bomba de vacío: utilizando embudo Buchner

Medición de conductividad eléctrica en el extracto de saturación con conductímetro digital marca Digicom modelo 2006. Al igual que con la determinación en pasta de saturación pero en el extracto SAMLA, SAGPyA (2004).

-. Determinaciones en los extractos de suelo:

El método tradicional es Volumetría por Titulación complejométrica con EDTA disódico. El reactivo EDTA reacciona con los iones Calcio y Magnesio, formando complejos. Se determina primero Calcio + Magnesio y luego Calcio, utilizando indicadores metalocromicos, negro de eriocromo T y murexida respectivamente, con viraje de rojo vinoso a azul. El Magnesio se obtiene por diferencia SAMLA, SAGPyA (2004).

Los carbonatos y bicarbonatos se determinan secuencialmente mediante Volumetría ácido base con ácido clorhídrico o sulfúrico. La titulación se realiza en dos etapas en las que el carbonato se transforma en bicarbonato, y luego el bicarbonato se desprende formando dióxido de carbono mas agua. Los puntos finales se determinaron por el cambio de color utilizando fenolftaleína para el viraje de carbonato y naranja de metilo para bicarbonato.

SAMLA, SAGPyA (2004).

Cloruros por volumetría de precipitación con nitrato de plata: es el método tradicional. Los iones cloruro reaccionan con nitrato de plata en presencia de cromato de potasio como indicador. Se forma un precipitado de Cloruro de Plata. El exceso de titulante reacciona con el indicador formando un precipitado color marrón rojizo, señalando el punto final. SAMLA, SAGPyA (2004).

Los sulfatos mediante el método de precipitación del ión sulfato en medio ácido como Sulfato de Bario, mediante la reacción con cloruro de bario. La cantidad de precipitado formado se evaluó mediante turbidimetría SAMLA, SAGPyA (2004). Con el espectrofotómetro Metrolab 2500 UV/VIS, con haz de luz simple.

El sodio y potasio se determinó por fotometría de llama, el sodio es fácilmente excitado en una llama, produciendo una luz amarilla intensa, correspondiente a una longitud de onda de 589 nm. La luz emitida es filtrada, y medida fotoeléctricamente, existiendo una relación entre ésta y

la concentración de Sodio en la solución problema. El equipo de medición se calibra con soluciones patrones, obteniendo dentro de ciertos límites, una relación lineal entre emisión y concentración. El Potasio también es excitado en una llama emitiendo radiación a 767 nm, que se relaciona con su concentración en forma análoga al Sodio.

Dentro de los análisis estadísticos se realizó el de correlación y regresión lineal para establecer las relaciones entre los distintos tratamientos a los dos tiempos de reposo. Al ser muestras no apareadas entre sí, no se puede realizar un análisis de la varianza.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en las determinaciones de CE en pasta y CE en extracto en los dos tiempos de reposo se muestran en la figura 1, en la misma puede observarse que al aumentar las conductividades de las muestras no se evidencia diferencia de valores entre los tiempos de reposo, tanto en pasta como en extracto. Pero sí entre valores de pasta y extracto a mismos tiempos de reposo.

Véase figura N°1.

En la figura 1 se evaluó la CE con las muestras a distintos tiempos de reposo en pasta y en extracto de saturación.

Véase figura N°2.

En la figura 2 se evidencia una baja correlación ($R^2=0.581$) entre las concentraciones de bicarbonatos atribuible a variabilidad en los contenidos de materia orgánica, carbonatos, capacidad de intercambio del suelo y pH, entre otras. Los iones HCO_3^- se forman por solubilización del CaCO_3 Tricart (1973); Lavado (1983); Bui *et al.* (1998) también por medio de la actividad microbiana alterando la composición de los extractos aumentando el contenido de bicarbonatos y cationes solubles, a partir de los cationes intercambiables. La acción microbiana varía según el tiempo transcurrido entre la preparación de la pasta y la filtración al vacío, volumen de extracto obtenido y temperatura de trabajo Carlson *et al.*, (1971). Se sabe que la reacción de pasaje de bicarbonato a carbonato es reversible y su dirección varía de acuerdo a las concentraciones de los mismos y los cationes que los acompañan, por eso mismo para evitar

la precipitación de carbonato cálcico puede añadirse una gota de hexametáfosfato sódico de 1000 ppm de concentración (0,6g/100ml) por cada 25 ml de extracto U.S.S.L (1954). Sino también, para no producir la precipitación de carbonato de calcio, realizar en una submuestra dilución doble para determinar Ca^{+2} y alcalinidad y comparar con el testigo o según Robbins *et al.*, (1980) determinar rápidamente CE, pH, Cl^- y CO_3H^- y diluir el extracto con un volumen equivalente al 0,1 N de ácido clorhídrico para que evite la precipitación y retarde los procesos biológicos.

Véase figura N°3.

En la figura 3 se puede ver elevada correlación ($R^2=0.942$) entre las concentraciones de cloruros, dentro de las sales existentes en los suelos, se encuentra en mayor proporción formando el cloruro de sodio, la sal de mayor solubilidad y por lo tanto de alta movilidad.

Véase figura N°4.

En la figura 4 se observa elevada correlación ($R^2=0.995$) entre las determinaciones de sulfato a distintos tiempos de reposo, al encontrarse en estas condiciones de humedad (pasta saturada), se extraen en alta proporción quedando aquellas que son retenidas fuertemente, formando precipitados como por ejemplo el yeso (sulfato de calcio dihidratado 2,04 gramos/litro de solubilidad a 20°C). El secado de las muestras se realiza a 40 °C y no se debe hacerlo a 105 °C ya que de ese modo se genera una deshidratación de las moléculas acompañantes del sulfato de calcio generando mayor solubilidad y por lo tanto una variación en las determinaciones.

Véase figura N°5.

Existe elevada correlación ($R^2=0.966$) entre las determinaciones a distintos tiempos de reposo entre calcio y magnesio. Es de esperarse que los cationes univalentes, sodio y potasio presenten correlaciones más elevadas que los cationes divalentes, calcio y magnesio, ya que son más propensos a ser extraídos por succión por competir menos por los sitios de intercambio, y no generar uniones o puentes entre materiales y coloides.

Véase figura N°6.

La elevada correlación ($R^2=0.997$) indica que el potasio es el menos propenso a ser modificado por el tiempo de reposo de la muestra.

Véase figura N°7.

Existe alta correlación ($R^2=0.975$) entre concentraciones de sodio a distintos tiempos de reposo, se podría inferir a este hecho la presencia de calcio y magnesio con mayor adsorción por las arcillas y su interferencia en la inclusión, adsorción del sodio, también el mayor diámetro hidratado con respecto a otros cationes, influyendo en la movilidad en el suelo.

El tiempo de reposo en la concentración de sodio no influye del mismo modo que con la observación de Magistad y colaboradores (1945), de que en suelos calizos, los contenidos de bicarbonato y de sodio, aumentan con la dilución, ya que el sodio es desplazado por el calcio disuelto del carbonato calcico. Estos autores evaluaron la diferencia en concentración de sodio a distintas relaciones suelo-agua en suelos calizos. Aquí en el trabajo se utilizaron suelos de climas húmedos donde no predominan las sales con calcio, como yeso, y por lo tanto pierden utilidad aquellos coeficientes utilizados, en trabajos realizados en climas áridos y semiaridos para relacionar CE en pasta y extracto.

Puede evidenciarse que existe alta correlación, en distintos tiempos de reposo y eso conlleva a resultados con R^2 cercanos a la linealidad, procurando utilizar aquella metodología que se acerque más a la realidad del suelo en cuestión y eficientizando labores de laboratorio.

Véase figura N°8.

En la figura 8 se observa que existe alta correlación (R^2 0.925) entre la CE en pasta de saturación a distintos tiempos de reposo (CE pas 10 min y CE pas 24 hs)

Vease figura N°9.

En la figura 9 se puede ver elevada correlación (R^2 =0.996) existente entre las CE en los extractos de saturación en los distintos tiempos de reposo (CE ext 10 min y CE ext 24 hs). Al comparar las correlaciones en pasta y extracto de las figuras 8 y 9, se puede ver que no existen diferencias significativas que influyan en el resultado.

Véase figura N°10.

La figura 10 muestra la baja correlación ($R^2=0.762$) existente entre la CEext10min y la CEpas10min demostrando que no es lo mismo medir en una condición u otra. La pendiente nos indica que por cada unidad de CEpas10min la CEext10min varía alrededor de 2,5 veces. Véase figura N°11.

La figura 11 muestra alta correlación ($R^2=0.957$) esto nos indica que comparando con la figura 10 el tiempo de reposo influye distinto en los resultados, obteniendo valores de CEpas24 horas más cercanos con los de CEext24hs con respecto a la CEpas10min y su CEext10min.

En las figuras 8, 9, 10 y 11 se expone la totalidad de los datos obtenidos en las determinaciones de CE con las distintas variantes seleccionadas. Se observa que existe una gran variabilidad entre la forma seleccionada para medir la conductividad eléctrica. Al determinar la C.E en la pasta de saturación se obtuvo valores siempre por debajo de los obtenidos en el extracto de suelo.

Al evaluar las figuras anteriores se quiso constatar la correlación existente entre las relaciones de adsorción de sodio (RAS) evaluando de forma simplificada lo que ocurre con los cationes que la conforman. Principalmente aquellos que se encuentran en la solución externa de la doble capa difusa.

Véase figura N°12.

De la figura 12 se observó una alta correlación entre los valores de RAS en los distintos tiempos de reposo. Asimismo se ven variaciones de las relaciones que existen entre ellos por la menor correlación ($R^2=0.831$) en comparación con cada uno de los cationes por separado.

Discusión

Se aprecia que a medida que aumenta el valor de la CE en el extracto, mayor es la diferenciación con las determinaciones en la pasta. Estas diferencias en los valores de CE determinados alcanzan valores de $6,3 \text{ dS m}^{-1}$ a $19,5 \text{ dS m}^{-1}$ para la pasta y el extracto respectivamente. Esta diferenciación entre metodologías alcanza un punto de inflexión a valores superiores a 1 dS m^{-1} . Dicho valor obtenido es muy bajo en relación a valores que reportan otros autores de hasta 8 dS m^{-1} Khorsandi y Yazdi, (2007); Zalba *et al*, (2013). Asimismo, esta diferencia entre las determinaciones en pasta y en extracto se explicarían por

el efecto que produce el sólido, sus cargas y la tortuosidad que genera en el recorrido de los iones Rhoades (1999).

Por otro lado existen investigaciones que a lo largo de los años han buscado la manera de simplificar la determinación calculando factores de conversión que permitan transformar determinaciones en pasta o extractos de relación fija, a valores de CE en extracto (Hogg y Henry, (1984); Nijensohn, (1988); Zalba *et al*, (2013). El análisis de los datos obtenidos en el presente trabajo en la figura 1 indica que la relación entre cualquiera de las 2 variantes seleccionadas para medir la conductividad eléctrica en pasta comparada a la determinación en extracto, se aparta de la linealidad para el caso de menor tiempo de reposo, 10 minutos ($R^2=0.762$) y alta correlación en 24 horas de reposo ($R^2= 0.957$). Por consiguiente no se adaptaría al uso de factores fijos de conversión en el primer caso pero si en el segundo. Esto podría atribuirse a que existen diferencias sustanciales en el tipo de suelo y región sobre la que se realizaron la mayoría de dichos estudios. Mientras en el presente trabajo se realizó la investigación sobre suelos de la región pampeana Argentina, que comprende suelos formados sobre loess en condiciones de clima templado húmedo, en la mayoría de los trabajos citados se han estudiado suelos de regiones áridas. Asimismo, la obtención de coeficientes incluye factores relacionados a la textura y el contenido hídrico porcentual de saturación, factores que no se han incluido en el presente análisis y que podrían corregir la desviación Zalba. *et al*, (2013).

La gran similitud registrada entre los datos obtenidos en la determinación de la CE ext 10min y CEext 24 hs) es un resultado promisorio y permitiría agilizar la determinación de conductividad eléctrica de manera significativa.

La obtención del extracto de saturación , es el metodo más indicado para conocer el nivel de salinidad de los suelos . Está sujeto a errores , ligados a dificultades técnicas por una parte Pleven, (1955) y a errores de manipulación por otra, por lo que se buscaron alternativas.

Por ello, diversos investigadores han estudiado las relaciones entre la conductividad eléctrica de este extracto (CEext) y la de la pasta correspondiente (CEpas), con objeto de encontrar una relación más sencilla y que permitiera obtener la CEext a partir de las cómodas medidas de CEPas.

Al establecer estas relaciones no puede omitirse una tercera variable , íntimamente ligada a la preparación de la pasta y obtención del extracto, el porcentaje de saturación (PS), (relación de agua a suelo en la pasta saturada).

Reitemeier y Wilcox (1946) de Fernandez (1966) Universidad de Murcia, comprobaron que no existía una correlación est recha entre la CEext y la CEpas a saturación , y sin embargo, entre el cociente CEext/CEpas y el porcentaje de saturacion (PS), encontraron ecuaciones lineales sencillas.

Kamaliddin *et al.* (1961) encontraron que no existe una relación simple y directa entre la CEext y la CEpas. Sin embargo, cuando consideran el porcentaje de saturación, el cociente CEe/CEp disminuye sistemáticamente con el aumento del PS.

Delver y Kadry (1960) obtuvieron una familia de curvas hiperbólicas para $CE_{ext} / CE_{pas} = f(PS)$ utilizando como parámetro los valores de CEpas , y proponen para calcular la CEext , utilizar la textura, de la que es función el PS por una parte y la CEpas por otra, obteniendo una correlación muy elevada entre los valores experimentales y los obtenidos empíricamente.

Si en lugar de la CE se emplea la magnitud del logaritmo negativo de la CE, propuesta primeramente por Whitles y Schofield-Palmer (1951), permitiría conocer el estado de salinidad del suelo, de acuerdo con las escalas generalmente aceptadas y basadas en medidas realizadas en el extracto de saturación , en función del PS y la CEpas o el logaritmo negativo de la CE.

Se utiliza el extracto de saturación ya que es el valor mas cercano a la condición hídrica en que se encuentra el suelo por mayor tiempo luego de un riego o lluvia y que permite mediante el porcentaje de saturacion independizarse de la textura y de la solubilidad de materiales poco solubles a diluciones mayores Nijensohn, (1961).

Las determinaciones de iones que se efectuaron arrojaron valores que mostraron en general altas correlaciones con excepcion de los bicarbonatos, en los cuales se vieron las mayores variaciones, influyendo negativamente el tiempo de reposo sobre la correlación de los mismos, pudiendo ser modificada por la actividad microbiana o precipitacion como carbonatos.

Algunas características que de haberse tenido en cuenta podrían aprovecharse para próximos trabajos que no se tuvieron en cuenta fueron el pesaje de las muestras para tener una

cantidad exacta de suelo, y también la cantidad de agua añadida para la preparación de la pasta saturada a fin de tener en cuenta características que influirían en la dilución como referirse a cantidad de agua por cantidad de suelo modificando las relaciones y detectar distintas concentraciones de iones que se vería restringida por el límite intrínseco de solubilidad de alguna sal. Se podría calcular el porcentaje de saturación de la muestra para detectar aquellas situaciones de estrés hídrico asintomático enmascaradas y planificar los riegos en búsqueda de mayores rendimientos. Sabiendo que el contenido hídrico de la pasta de saturación es alrededor de dos veces la cantidad de agua a capacidad de campo (CC) y cuatro veces la capacidad a marchitez permanente (CMP), en estas condiciones la CE mostraría valores de la mitad y un cuarto de la solución del suelo respectivamente Aragües (1974). Otra característica a mejorar podría ser la identificación de la muestra con respecto a su contenido de materia orgánica, que influye en la determinación de CE al precisar más cantidad de agua por volumen de muestra, por lo tanto relaciones de suelo-agua distintas. Sobre la pasta de suelo se genera una selección de cationes y aniones influenciada por la capacidad de intercambio del suelo en cuestión. Estas desviaciones no fueron evaluadas en conjunto por otros investigadores, servirían para establecer coeficientes que correlacionen las concentraciones de cationes-aniones con porcentajes de materia orgánica, saturación y composición textural. De esta manera se podría inferir a través de características fáciles de medir, determinaciones que en la actualidad conllevan mucho trabajo y lograr mayor eficiencia en la cadena productiva, disminuyendo tiempos para decisiones de manejo.

Conclusiones:

Los resultados obtenidos de CE fueron mayores para los extractos de saturación con respecto a las pastas de saturación en todas las muestras. Y dentro de los extractos de saturación se determinó la concentración de cationes y aniones a distintos tiempos de reposo demostrando diferencias no significativas. Estudios anteriores Kadry (1960), Hogg y Henry, 1984; Nijensohn, (1988), Delver y Zalba *et al* (2013), demuestran que la medición de CE difiere según se realice en pasta o extracto porque entre otras causas posee influencias la textura, la tortuosidad del camino de los electrolitos y las cargas de los componentes de las arcillas.

Las determinaciones de cationes y aniones presentan alta correlación por lo que se puede deducir que en los tratamientos entre extractos a distintos tiempos de reposo no se evidencian diferencias, con excepción del bicarbonato que posee baja correlación.

La determinación de la conductividad eléctrica en pasta de suelo arrojó valores muy por debajo de los determinados en el extracto de suelo, con diferencias de tal magnitud que cambiaría el diagnostico salino de los suelos.

El tiempo de reposo o contacto no modifica los valores en la determinación de conductividad eléctrica comparando los tratamientos en pasta y extracto a distintos tiempos, sabiendo que entre pasta y extracto existe una brecha que los separa.

De mediar estudios que confirmen la baja influencia del tiempo de reposo en la determinación de la CE sería una ventaja metodológica que permitiría agilizar el proceso de determinación y diagnostico de salinidad en suelos.

BIBLIOGRAFIA:

Bibliografía Citada:

Adams, F., (1974). The soil solution. En: The plant root and its environment. Carson, E.W. (Ed.). University of Virginia Press. Charlottesville, 441-480.

AFES., (1995). Référentiel Pé dologique. Baize, D., Girard, M.C. (Coord.). Association Française pour l'Étude du Sol. INRA Editions. Paris. 332 pp.

Alcaraz A. F. J. (2012). Departamento de Geobotanica. Salinidad y vegetación.

Aparicio V; Barbacone A & Costa J.L. (2014). Efecto de la calidad del agua de riego complementario sobre algunas propiedades químicas edáficas . Ciencia del Suelo Vol. 32 (1). ISSN 0326-3169 pág. 95-104

Amini F, Ehsanpour A.A, Hoang Q.T, Shin J.S, (2007). Protein pattern changes in tomato under in vitro salt stress. Rusian Journal of Plant Phisiology. 54 (4): 464-472 p.

Aragues R, Millan M, Quilez D, Fernandez M, . Unidad de Suelos y Riegos S.I.A-D.G.A Apartado 727. 50080 Zaragoza

Aragues R. L. (1974).Dpto Edafologia. Est. Exp "AULA DEI".

Ayers R.S. & D.W. Wescot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. FAO Estudio Riego y Drenaje. No29 Rev.1, Roma, 174.

Brinkman, 1980. Saline and sodic soils. In: Land reclamation and water management, p. 62-68. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands.

Caviglia O.P, Melchiori R.J.M, Paparotti O.F (2003). Conductividad eléctrica del extracto de saturación estimada a partir de relaciones fijas de Suelo:Agua. EEA INTA Parana.

Carlson, R.M.; Overstreet, R. y Naylor, A.V. (1971). Effect of microbial activity on saturation extract composition. Hilgardia 40: 553-564.

Carter, M.R., Webster, G.R., 1990. Use of cation-to-total calcium ratio as an index of plant available calcium. Soil Science 149, 212-217.

Chaves M.M, Flexas J, Pinheiro C, (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany 103(4):551-560 p.

Chinnusamy V, Jagendorf A, Zhu J, (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. Crop. Sci. 45, 437-448 p.

Delver, P . ; Kadry, L .T. (1960). Estimation of saturation-extract conductivities from saturation paste conductivities and textures for saline soils in the Mesopotamian Plain. Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci. 2:370-377.

Duchaufour, P., 1988. Abrégé de Pédologie. 2me Edition. Masson. Paris. 232 pp.

FitzPatrick, E.A., 1980. Soils: their formation, classification and distribution. Longman, London 353 pp.

Fernandez M. C.,(1966) Universidad de Murcia Tesis para Doctor en Ciencias,

Flores, A., Galvez, V., Hernandez, O., Lopez, G., Obregon, A., Orellana, R., Otero, L. y Valdez, M. (1996). Salinidad un nuevo concepto. Edit Colima. México.137p

Hayward, H.E., Wadleigh, C.H., (1949). Plant growth on saline and alkaline soils. Advances in Agronomy 1, 1-138.

Hilgard, E.W., (1906). Soils. Their formation, properties, composition, and relations to climate and plant growth in the humid and arid regions. New York. 593 pp.

Imbellone, PA, Giménez, JE, Panigatti, JL. (2010). Suelos de la Región Pampeana: Procesos de formación. Ed. INTA. Buenos Aires. 320 pp.

IUSS Working Group WRB, (2006). World reference base for soil resources. World Soil Resources Reports 103. FAO, Roma. 128 pp. (Versión en castellano: Base Referencial Mundial para el Recurso Suelo. Primera Actualización 2007. Traducción M.S. Pazos. On-line.

Jacober, F y Sandoval, F. (1971). Effect of soil grinding, suction and extraction time on salt concentration of saturation extracts. Soil Sci, 112, 263-266p.

Kamaliddin, A. R.; SHARIF, B.; Hardan, A. (1961). Electrical conductivity relationships for soil pastes and 1:1 soil water suspensions and their extracts. Arid Zone Res. XIV: 299-303.

Lavado, R.S., Duymovich, O.A., Giménez, J.E., Alvarez, L.A., (1982). Pérdidas de sustancias húmicas de suelos nátricos a través del río Samborombón. Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie). Serie Geología 76, 97-103.

Levitt, J., (1980). Responses of plants to environmental stress. Vol. 2. Academic Press. New York. 497 pp.

Longenecker, D.E; Lyerly, P.J (1964): Making soil pastes for salinity analysis: a reproducible capillary procedure Soil. Sci, 97, 268-275p.

Loveday, J (1972): Moisture content of soils for making saturation extracts and the effect of grinding. Div Soils Tech Paper, N°12 Commonwealth Sci. and Ind. Res. Organization Australia, 9p.

Loyer, J.Y., (1991). Classification des sols salés: les sols salic. Cahiers de l'ORSTOM, série Pédologie 26, 51-61.

Maas, E. V; Hoffman, G. J. (1977): Crop salt tolerance: current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proc. of Am Soc. Of Civil Eng, 103 (IR2), 115-134 p.

Magistad O. C.; Reitemeier, R. F.; Wilcox, L. V. (1945). Determination of soluble salts in soils. Soil Sci. 59:65-75.

Parida A.K, Das A.B, (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotoxicol. Environ. Safety. 60: 324-349p.

- Peinemann, N., (1997).** Formación, clasificación, manejo y recuperación de suelos salinos y sódicos. Ediciones Sur. La Plata. 120 pp.
- Porta, J., López Acevedo, M. y Roquero, C. (2003).** Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 960p.
- Pla Sentis, I. (2006).** Problemas de degradación de suelos en el mundo: Causas y consecuencias. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.
- Pleven, J. (1955).** Comparaison de l 'extrait saturé d 'un sol et de son ex- trait salin 1:10. Travaux des Sections Pedologie et Agrología BuU. n." 1 Alger.
- Plyusnin, I.I., (1964).** Reclamative Soil Science. Foreign Languages Publishing House, Moscow. 398 pp.
- Reitemeir, R. F.,; Wilcox, L. V. (1946).** A Critique of estimating soil solution concentration from the electrical conductivity of saturated soils. Soil Science, 281-293.
- Rhoades, J. D.; Chanduvi, F.; Lesch, S. (1999).** "Methods and interpretation of electrical conductivity measurements" – Soil salinity Assessment – FAO Roma, Italia.
- Rhoades, J. D; y Clarck, M (1976):** Electrical conductivity methods in use tat the U.S.Salinity Laboratory for characterizing salt-affected soils and waters. Contribution N°640 del U.S Salinity Laboratory USDA, Riverside, California, 24 p.
- Richards, L.A. (Ed.), (1954).** Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. Salinity Laboratory, USDA Handbook 60. Government Printing Office. Washington. (Traducción castellana: Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos . Editorial Limusa, México, 1973. 172 pp).
- Ringuelet, E.J., (1935).** Datos ecológicos sobre las aguas de los ríos Samborombón y Salado de Buenos Aires. Notas del Museo de La Plata. I, 7, 159-175.
- Robbins, C.W.: Wagenet, R.J; Jurinak .J. (1980):** A combined salt transport-chemical equilibrium model for calcareous and gypsiferous soils.Soil. Sci. Soc . Am. J. 44, 1191-1194p.
- Sánchez, R. M.,Guerra L.D., Scherger M., (2016)** Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina - 1a ed. – Hilario Ascasubi, Buenos Aires: Ediciones INTA, 2016. Libro digital, PDF

- Soil Survey Staff, (1999). Soil Taxonomy.** A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agricultural Handbook 436. Washington, DC. 869 pp.
- Soil Survey Staff, (2007).** Claves para la Taxonomía de Suelos . Traducción de la 10 edición (2006) de: Keys to Soil Taxonomy. U.S. Department of Agriculture. 331 pp.
- Spaargaren, O.C. (Ed.), (1994).** World Reference Base for Soil Resources. Draft. IUSS, ISRIC, FAO. Wageningen, Rome. 161 pp.
- Szabolcs, I., (1988).** Solonetz soils. Proceedings International Symposium of Solonetz Soils. Osijek, Yugoslavia. 9-25.
- Taboada, M.A. y R.S. Lavado (Ed.). (2009).** Alteraciones de la Fertilidad de los Suelos. El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. Editorial Facultad Agronomía Universidad de Buenos Aires, 160 p.
- Taboada, M.A., Alvarez, C.R., (2008).** Fertilidad física de los suelos . Universidad Nacional de Buenos Aires. 2a edición. 237 pp.
- Taboada, M.A., Panuska, E.M., Lavado, R.S., Giménez, J.E., Duymovich, O.A. (1987).** Pérdidas de sustancias húmicas de suelos nátricos a través del río Samborombón. 2. Comparación de suelos con horizonte nátrico y argílico . Notas del Museo de La Plata , Geología 74, 21, 67-76.
- Tricart, J.L.F., (1973).** Geomorfología de la Pampa Deprimida . Colección Científica XII. INTA. Buenos Aires. Argentina. 194 pp.
- U.S.S.L (1954):** Diagnosis and improvement of saline and alkali soil U.S. Salinity Laboratory USDA Agric. Handbook, N°60, 160 p.
- Vijayan K, (2009).** Approaches for enhancing salt tolerance in mulberry (Morus L) -A review. Plant Omics Journal. 2(1): 41-59p.
- Whittles, C. L.; Schofield-Palmer, B. K. (1951).** On pC, pS and pN as indicating functions of electrical soil conductivity. ,J. Soil Sci. 2:243-245.
- Zalba P.; Garay, M.; Amiotti, N. y Ares, A. (2013).** Improved Field Method For Estimating Soil Salinity. Ciencia del Suelo.

Anexo Tablas y gráficos:

	Buenos Aires	Santa Fe	Córdoba	Entre Ríos	La Pampa	Total
Superficie provincial	307.500	133.000	165.300	78.800	143.400	828.000
Porcentaje de suelos halomórficos respecto a superficie provincial	23,0	39,5	17,4	5,5	4,0	19,6

Tabla 1:Superficie afectada por salinidad en kilómetros cuadrados (km²).

INTA (1989 y 1990).

Clase	Sales (sa)(%)	Carbonato de sodio (so)(%)
I	<0,1	0-0,05
II	0,1-0,25	0,05-0,1
III	0,25-0,5	0,1-0,2
IV	>0,5	>0,2

Tabla 2: Clasificación de suelos salinos por clases

Suelo	CE(dS m ⁻¹)	PSI	pH
No sódico- No salino	<4	<15	<8,5
Sódico - No salino	<4	>15	>8,5
Alcalino	≥4	>15	<8,5
Sódico - Salino			
Salino	≥4	<15	<8,5

Tabla 3: Clasificación de suelos. Extraído de Hayward y Wadleigh (1949)

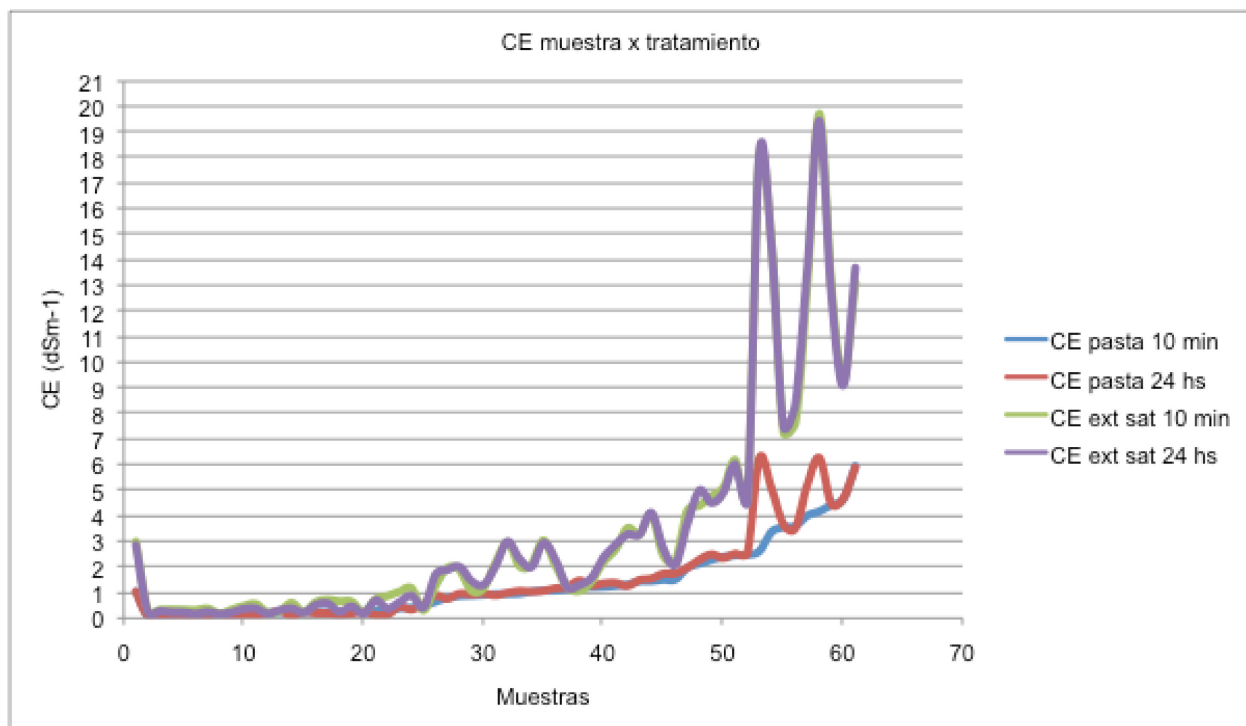


Figura N°1: se observa la CE en pasta saturada de suelo a los 10 minutos y 24 horas, y también la CE en extracto a los 10 minutos y 24 horas en las distintas muestras.

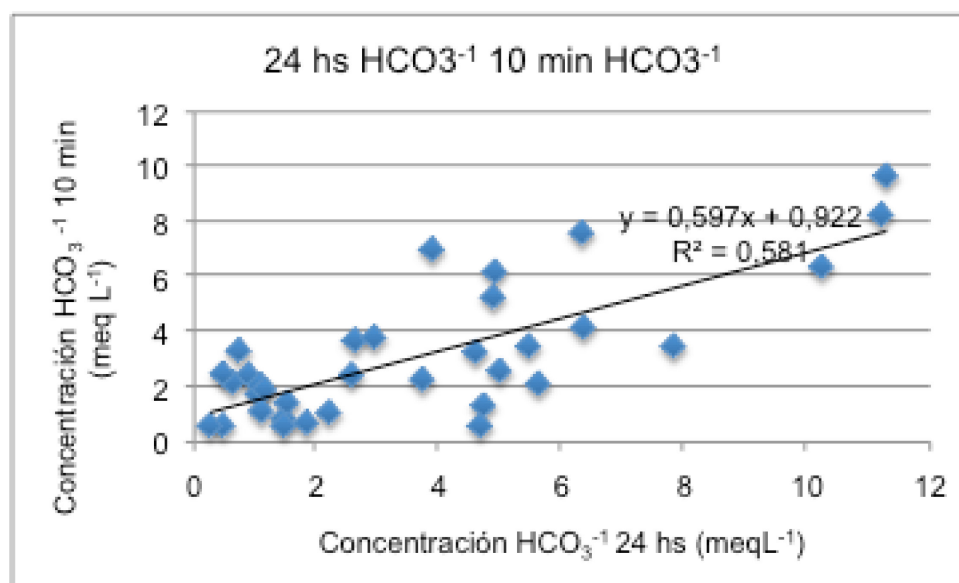


Figura N°2 Relación entre la concentración de bicarbonatos a las 24 horas y la concentración de bicarbonatos los 10 minutos.

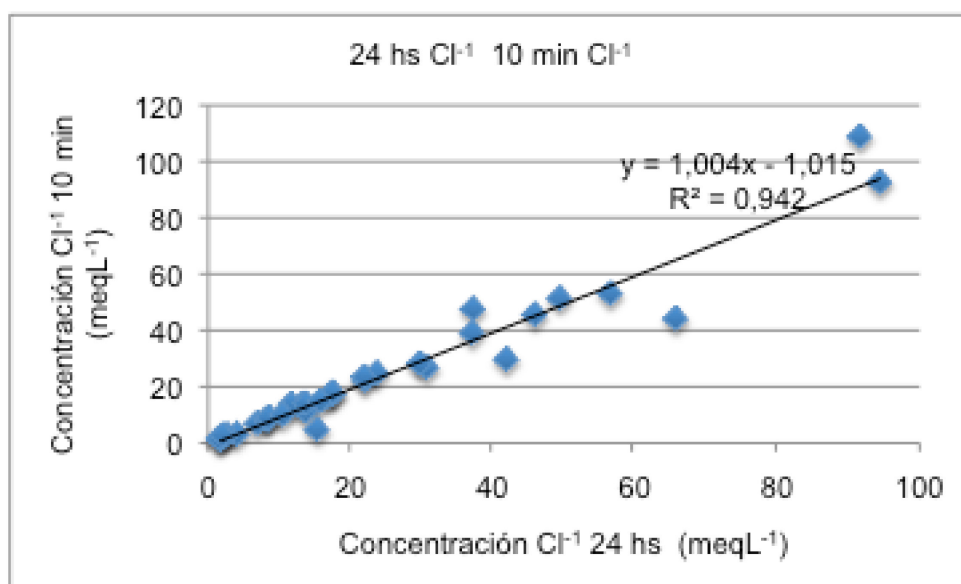


Figura N°3: Relación entre la concentración de cloruros a las 24 hs y la concentración de cloruros a los 10 minutos.

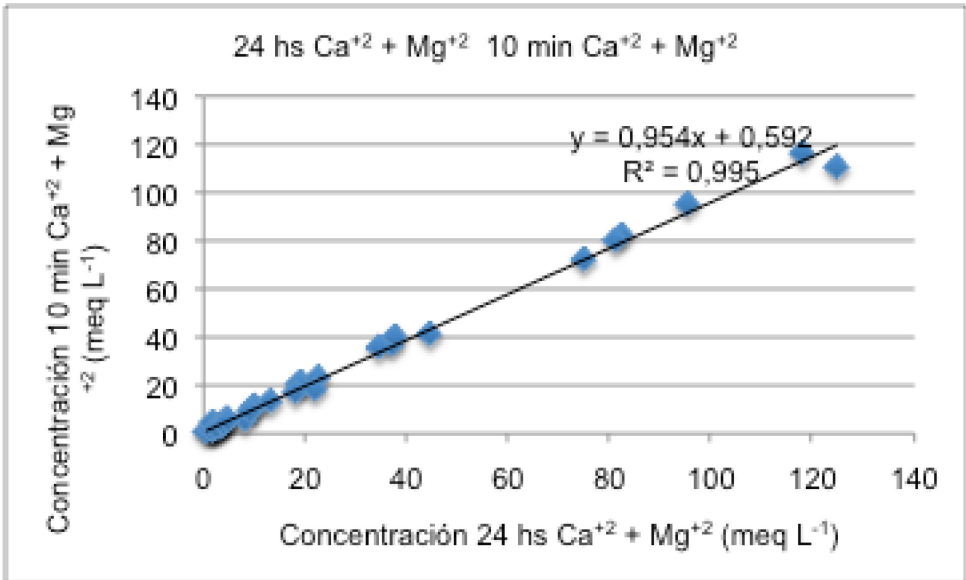


Figura N°4: Relación entre la concentración de calcio y magnesio a los 10 minutos y la concentración de calcio y magnesio a las 24 horas.

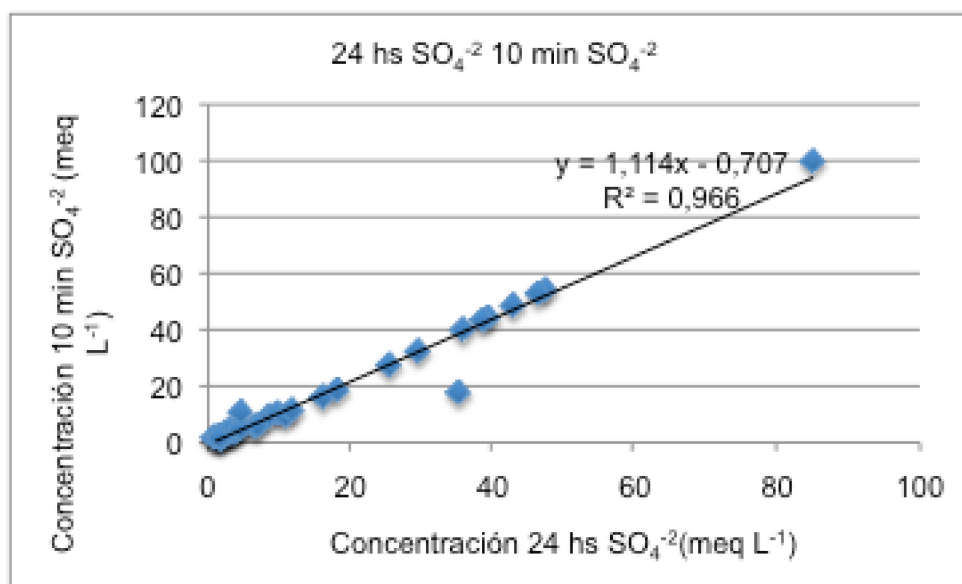


Figura N°5: Relación entre la concentración de sulfatos a los 10 minutos y la concentración de sulfatos a las 24 horas.

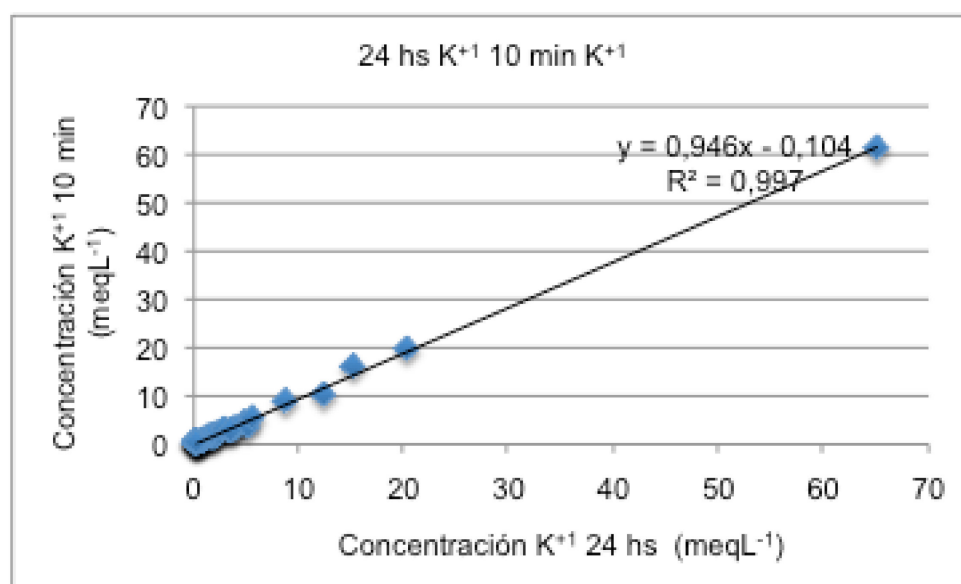


Figura N°6: Relación entre la concentración de potasio a las 24 horas y la concentración de potasio a los 10 minutos.

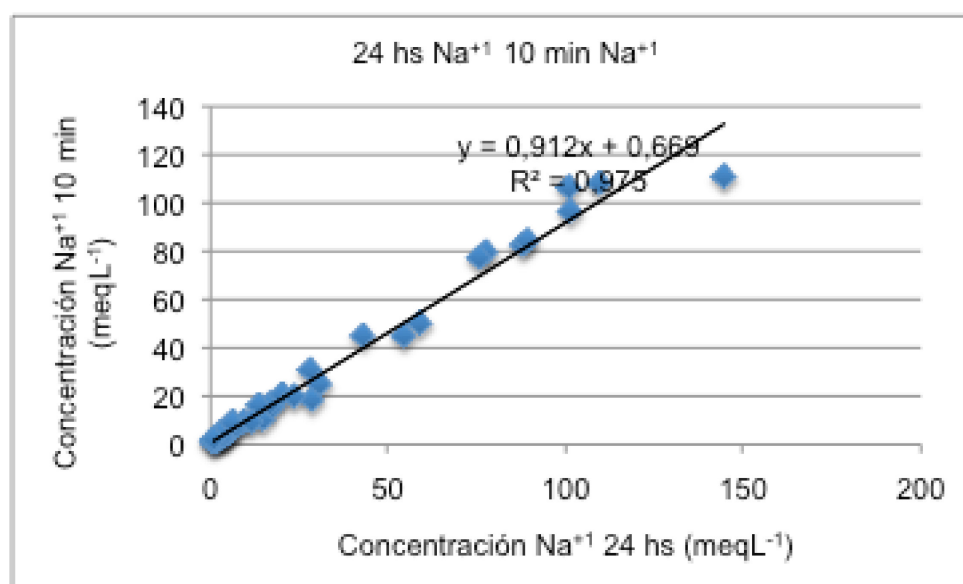


Figura N°7: Relación entre la concentración de sodio a las 24 horas y la concentración de sodio a los 10 minutos.

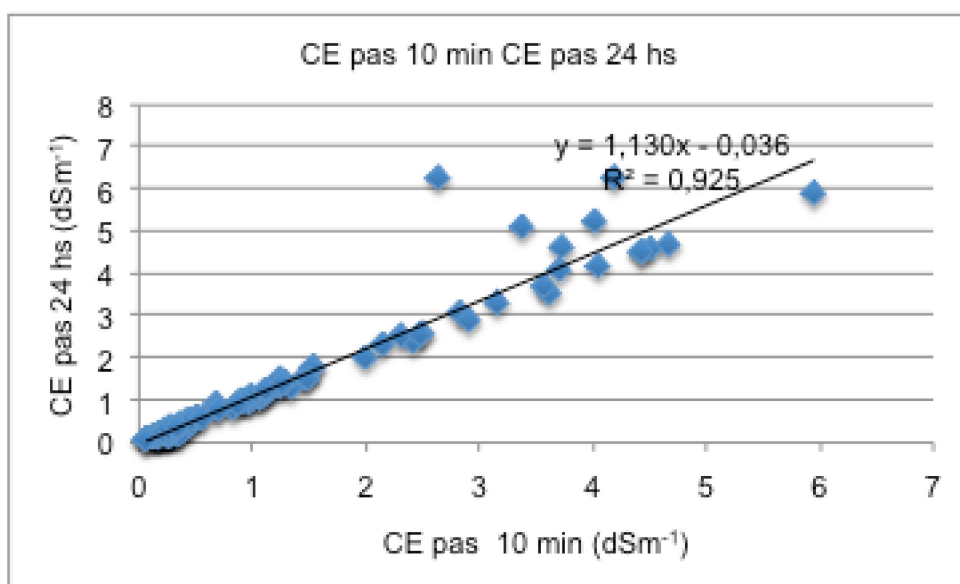


Figura N°8: Relación entre la CE de la pasta saturada de suelo a los 10 minutos (CE pas 10 min) y la pasta saturada de suelo a las 24 horas (CE pas 24 hs).

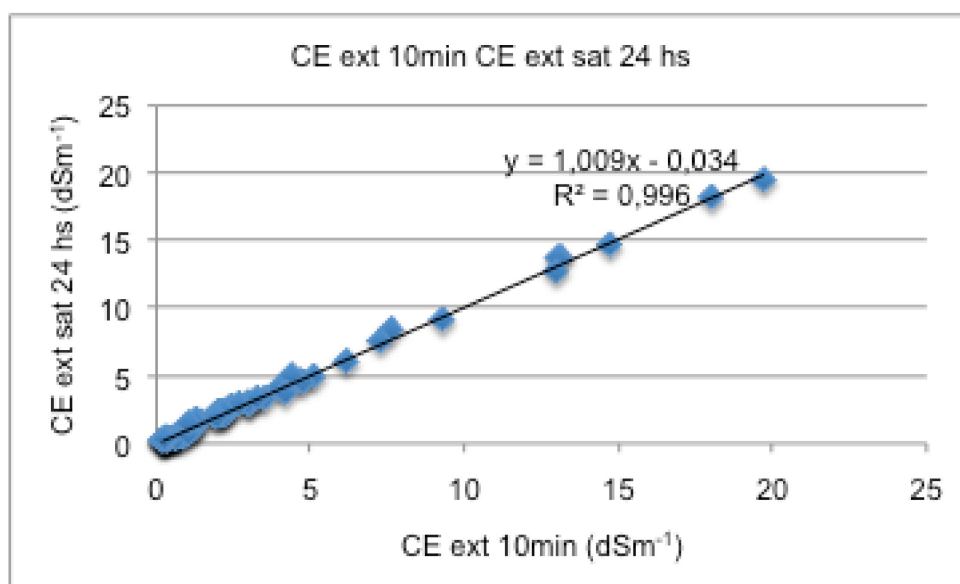


Figura N°9: Relación entre la CE del extracto saturado de suelo a los 10 minutos (CE ext 10 min) y el extracto saturado de suelo a las 24 horas (CE ext 24 hs).

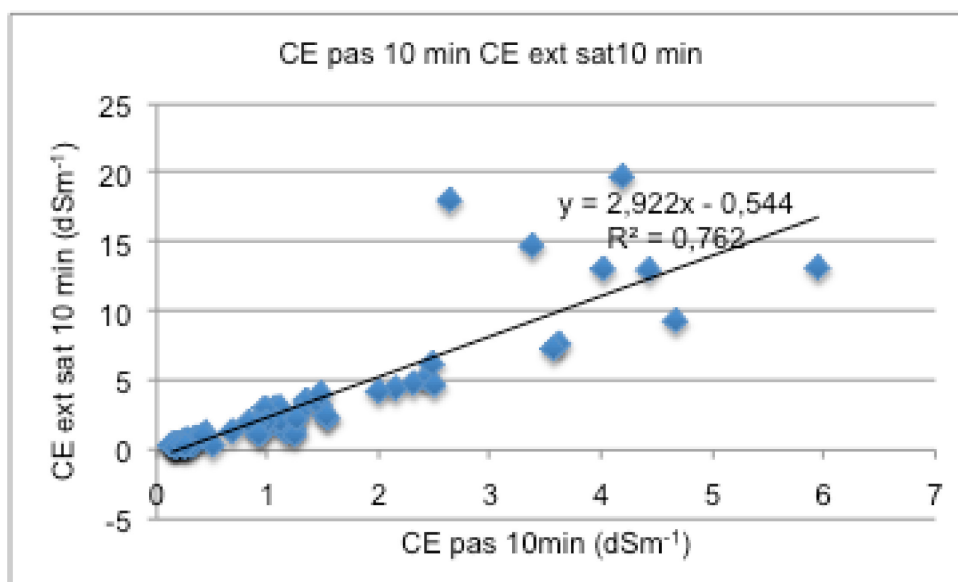


Figura N°10: Relación entre la CE de la pasta saturada de suelo a los 10 minutos (CE pas 10 min) y el extracto de saturación de suelo a los 10 minutos (CE ext 10 min).

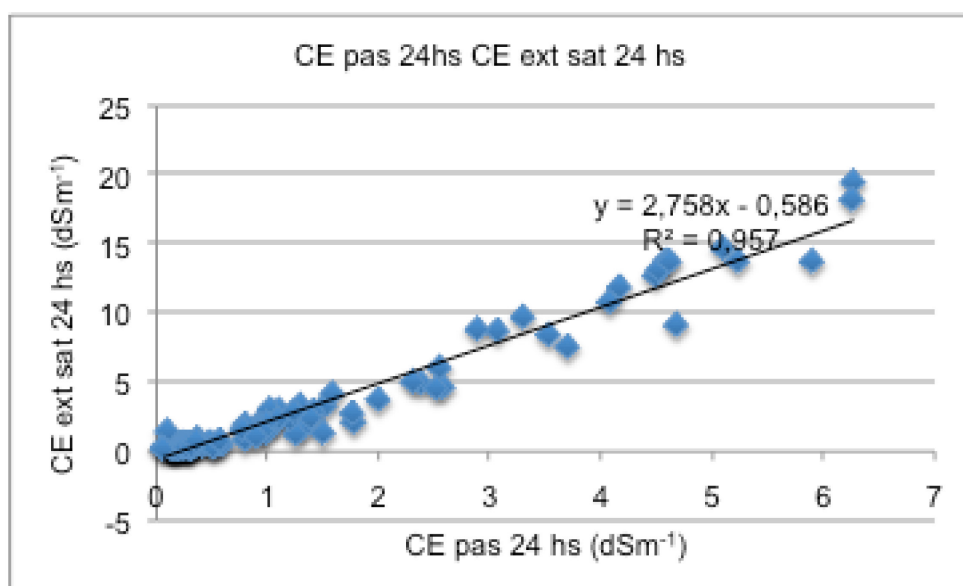


Figura N°11: Relación entre la CE de la pasta saturada de suelo a las 24 horas (CE pas 24hs) y el extracto de saturación de suelo a las 24 horas (CE ext 24 hs).

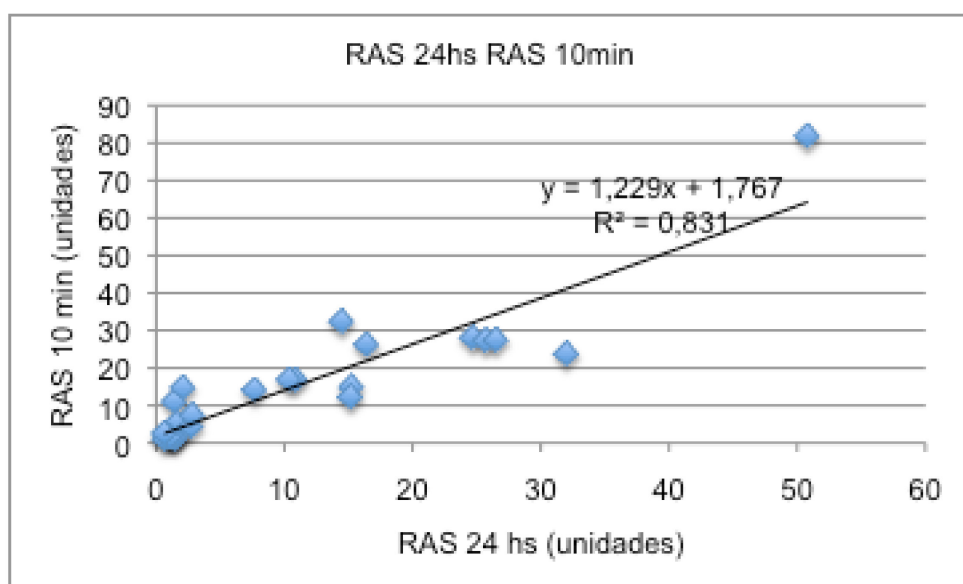


Figura N°12: Relación entre la relación de adsorción de sodio del extracto saturado de suelo a las 24 horas (RAS 24 hs) y la relación de adsorción de sodio a los 10 minutos (RAS 10min).

Agradecemos al director y codirector que nos acompañaron en el transcurso de la tesina, tambien para aquellos que ayudaron y se presentaban predispuestos a cualquier pregunta, incluyendo a Victor Merani, Pablo Gelati, Mabel Vázquez, German Soraco, Margarita Alconada y a Daniel Benardi, incluyendo a integrantes de la catedra de edafologia y Jorge Lanfranco por el espacio de trabajo.